

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Manipulační zařízení s pneumatickým svalem

Handling Device Driven by Fluidic Muscle

Student:

Hubert Tomáš

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Jaroslav Kopáček, CSc.

Ostrava 2011

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Hubert**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení**
Téma: **Manipulační zařízení s pneumatickým svaem
Handling Device Driven by Fluidic Muscle**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte projekt manipulačního zařízení s pneumatickým svaem pro dopravní linku palet. Hmotnost dopravované palety je 20 kg, manipulační zdvih je 50 mm. V rámci projektu vypracujte:

1. Přehled konstrukcí, parametrů a vlastností pneumatického svalu
2. Aplikační možnosti použití pneumatického svalu
3. Projekt zvoleného manipulačního zařízení
4. Návrh a výpočet pneumatického obvodu a volba prvků

Seznam doporučené odborné literatury:

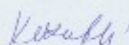
Kopáček, J. *Pneumatické mechanismy, díl 1. Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996. 239 s. ISBN 80-7078-306-0.
Dindorf, R. Chwytyaki z muskulami pneumatycznymi. *Pneumatyka*, 2005, no. 6, s. 16-19. ISSN 1426-6644.
Firemní podklady Festo: *Fluidic Muscle MAS*.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jaroslav Kopáček, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011


prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Abstrakt

Úkolem této práce je navrhnout manipulační zařízení s pneumatickým svalem, kde bude možné použití v různých průmyslových odvětvích. Je v ní vysvětlen princip činnosti pneumatických svalů a jejich historie od vzniku prvního až po současné pneumatické svaly. Dále podává přehled aplikací, které využívají ke své činnosti umělé svaly. Umělý sval má široké použití a můžu o něm říct, že je to pohon, který má velké vyhlídky do budoucnosti. Bude nadále na seznamu výzkumníků s úkolem o jeho další zdokonalování vlastností.

Klíčová slova: umělý pneumatický sval, statický model, manipulační zařízení

Abstract

The goal of this work is to design handling device with pneumatic muscles and where can be used in various industrial sectors. It is explained the principle of pneumatic muscles and their history since the inception of the first to present the pneumatic muscles. Gives an overview of applications that use the artificial muscle of their activities. The artificial muscle is widely used and I can say about it, it's drive, which has great prospects for the future. It will remain on the list of researchers with the task of further improving its performance.

Keywords: pneumatic artificial muscle, static model, handling device

Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou Bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literatury.

V Ostravě dne 23. května 2011

.....

Hubert Tomáš

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adresa trvalého pobytu autora práce

Seznam použitých značek a symbolů

symbol	význam	jednotka
H	zdvih	mm
l	délka svalu	mm
h	kontrakce	%
m	hmotnost	kg
p	tlak	mPa
F	působící síla	N
f	frekvence	Hz
D ₁	vnitřní průměr svalu	mm
D	průměr svalu	mm
D ₃	vnitřní průměr přísavky	mm
D ₂	průměr přísavky	mm
V	objem svalu	m ³
π	Rudolfovo číslo	-
b	délka vlákna	mm
n	počet obtočení vlákna	-
θ	úhel obtočení vlákna	°

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	6
1. Úvod	9
2. Pneumatický sval	10
2.1 Historie	10
2.2 Vývoj a konstrukční modifikace	12
2.2.1 McKibbenův umělý sval	12
2.2.2 Yarlotův sval	13
2.2.3 Wasedův sval	14
2.2.4 Kukoljův sval	14
2.2.5 ROMAC	15
2.2.6 Morinův sval:	16
2.2.7 Oplétané svaly	16
2.2.8 Baldwinův sval:	17
2.2.9 Fluidní sval FESTO	18
2.3 Vlastnosti pneumatických svalů	19
2.4 Problematika u pneumatických svalů	20
3. Konstrukce pneumatického svalu	21
3.1 Princip funkce	21
3.2 Statický model	23
3.3 Deformace okrajů svalu	23
3.4 Pružnost vláken	24
4. Fluidní svaly	24
4.1 DMSP s nalisovanými spoji	25
4.1.1 Tabulka obecných technických údajů	26
4.1.2 Funkční řez:	27
4.1.3 Varianty přívodu:	27
4.2 MAS se šroubovanými spoji	28
4.2.1 Tabulka obecných technických údajů	29
4.2.2 Funkční řez:	30
5. Příklad použití pneumatického svalu	31
6. Návrh zvoleného manipulačního zařízení:	35
6.1 Schéma pneumatického obvodu:	36

6.2 Výpočet pneumatického svalu:	37
6.3 Volba vakuového ejektoru.....	38
6.3.1 Tabulka obecných technických údajů.....	38
6.3.2 Výkonnostní a provozní parametry	39
6.3.3 Charakteristiky.....	40
6.4 Volba vakuové přísavky	41
6.4.1 Tabulka obecných technických údajů.....	42
6.4.2 Charakteristiky.....	43
7. Závěr	45
8. Seznam použité literatury	46

1. Úvod

Tato práce se věnuje především pohonu, jenž je v této oblasti zatím nejvíce zkoumán – McKibbenovu umělému svalu (anglicky McKibben Artifical Muscle Actuator nebo pMA – pneumatic Muscle Actuator). Umělé svaly mohou být co do tvaru, velikosti a provedení naprosto různé podle aplikace. Umělý sval je založený na kombinaci pružného materiálu a elektronických prvků. I když je to relativně nový pohon našel uplatnění v širokých oblastech, ať už v průmyslu tak i v lékařství, díky svým výjimečným schopnostem. Jak bude podrobněji popsáno dále, tento pohon se na jednu stranu vyznačuje výjimečnými užitnými vlastnostmi, na druhou velmi nelineárním průběhem generované síly a komplexním vnitřním třením. Mezi jeho výhody patří malá hmotnost a malý rozměr s možností vyvozování podstatně větších sil než u běžných typů pohonů. Komplikovaný a stále velmi nepřesný model zatím nedovoluje větší rozšíření tohoto slibného pohonu.

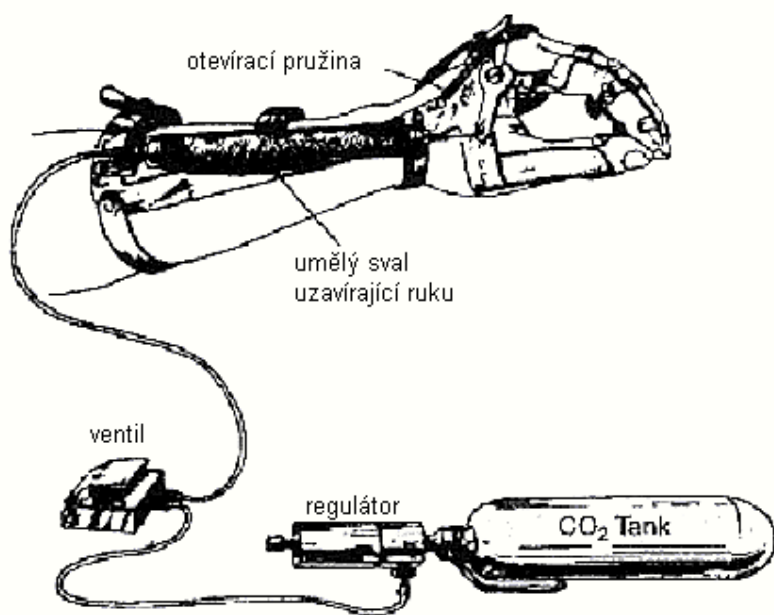
Cílem této práce je představit dosavadní stav modelování pneumatického svalu, jeho využití v průmyslu a návrh zkušebního manipulačního zařízení s pneumatickým svalem.

2. Pneumatický sval

Tato kapitola popisuje princip činnosti a základní parametry umělého pneumatického svalu a dále představuje několik nejznámějších konstrukčních provedení.

2.1 Historie

Vznik prvního pneumatického svalu je datován už do roku 1930. Fyzik S. Garasiev sval sestrojil jako pohon pro bioprotézy. Byl založen na principu transformace tlakové síly plynu rozpínající elastickou hadici na kontrakci svalu stejně jako dnes používané pneumatické svaly. Převod pneumatické energie na mechanickou zajišťovala pevná vlákna umístěná rovnoběžně s podélnou osou svalu a spojující oba konce svalu. Elastická trubice byla navíc po určitých úsecích zaškrncena prstenci.



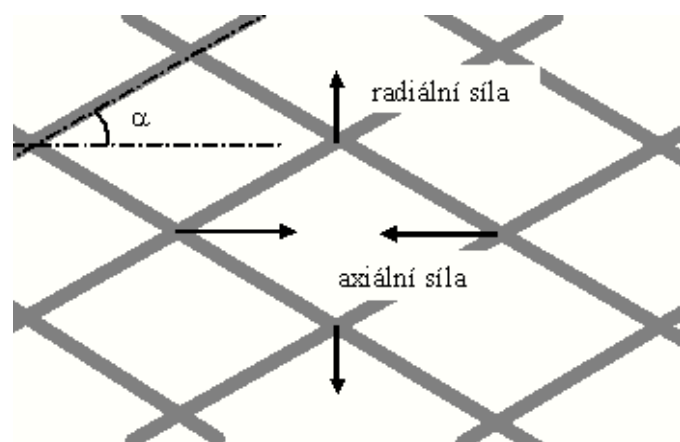
Obr. 1: McKibbenova protéza pro hendikepovanou ruku

V 50. letech Joseph L. McKibben vyvinul nov pneumatický sval, který byl v 50. a 60. letech využíván opět při výzkumu náhrady končetin a pomocných ortéz pro končetiny s omezenou hybností. McKibbenův sval je, stejně jako Garasievův sval, tvořen vnitřní elastickou nepropustnou trubicí. Základní rozdíl mezi Garasievov m a McKibbenov m svaem je ve způsobu opletení vnitřní elastické trubice. U McKibbenova svalu je opletení provedeno bifilárně vinutými vzájemně překříženými vlákny (viz **Obr. 2**). Opletení tak tvoří síť základních pantografických jednotek, které opět transformují pneumatickou energii na mechanickou. Vnitřní elastická trubice má tvar válce, na jehož plášť působí tlak přiváděného vzduchu, který trubicí roztahuje do šířky. Pomocí pantografu je radiální síla rozšiřující trubicí převáděna na axiální kontrakční sílu (viz **Obr. 3**). Sval tedy při zvyšování vnitřního tlaku zvětšuje svůj průměr a zkracuje svoji délku. Vyvozená kontrakční síla svalu je pak dále využívána.



Obr. 2: Opletení pneumatického svalu.

Současně se svaem McKibbenovým bylo vyvinuto několik dalších typů umělých pneumatických svalů. Základem jejich konstrukce byla vždy nepropustná vnitřní membrána v kombinaci s různě spletenými vlákny. McKibbenova konstrukce je však používána nejčastěji, proto se také název McKibbenův sval ekvivalentem názvu pneumatický sval.



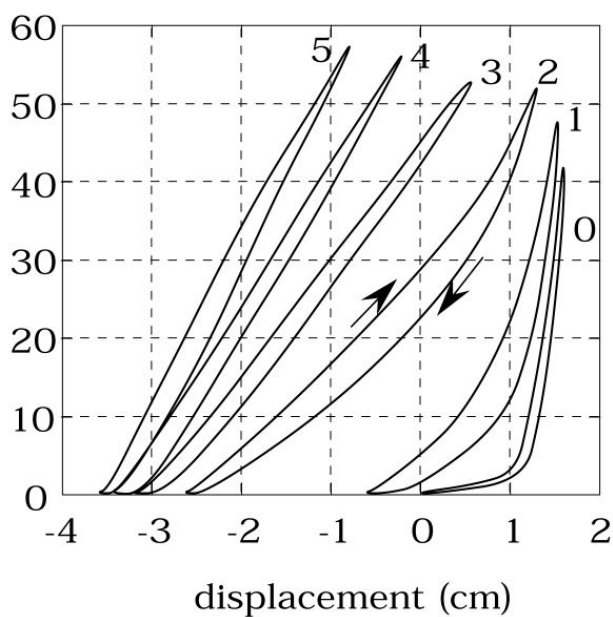
Obr. 3: Princip elementárního pantografu

2.2 Vývoj a konstrukční modifikace

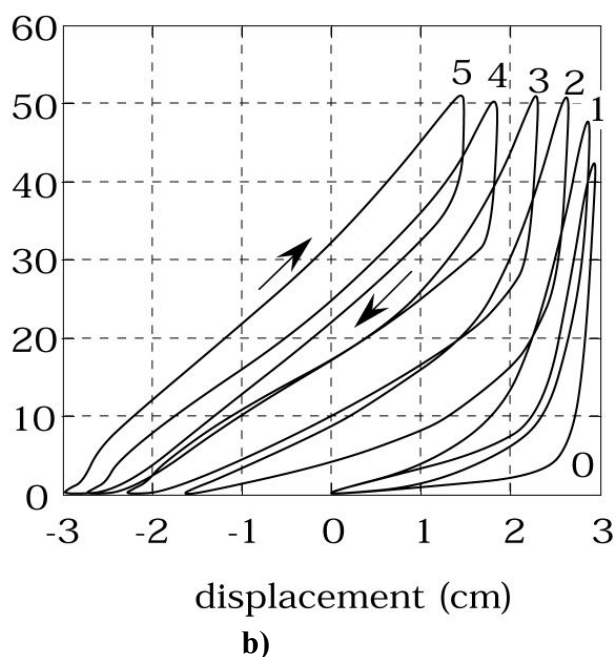
V této podkapitole bude přiblížen historický vývoj pneumatického svalu a popsáno několik jeho konstrukčních modifikací.

2.2.1 McKibbenův umělý sval

Nejpoužívanější název pro pneumatické svaly s rozlišnými druhy opletení je právě McKibbenův umělý pneumatický sval, přestože McKibben nebyl zdaleka první, kdo podobný sval zkonstruoval. V padesátých letech sestrojil pneumatický sval, který doporučil použít k pohonu protéz lidských končetin, **Obr. 1**. Roku 1961 Schulte publikoval článek, kde použil Gaylordovu matematiku a pneumatický sval nově pojmenoval „McKibbenův sval“. Typický provozní přetlak McKibbenova svalu je od 100 do 500 kPa.



a)



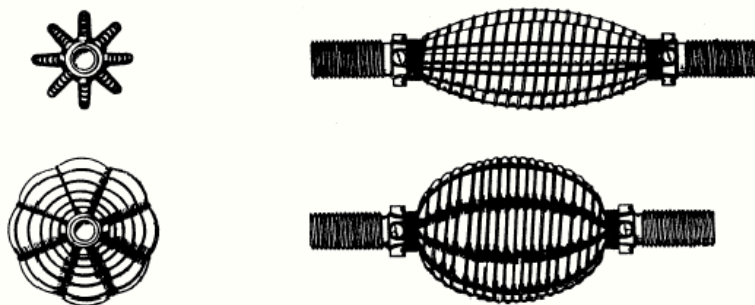
Obr. 4:

McKibbenovo Svalové napětí (N) a hystereze při izobarických podmínkách (0, 100, 200, 300, 400 a 500 kPa), (a) Nylonové lemování, (b) skleněné vlákno cop

2.2.2 Yarlotův sval

Yarlot svůj fluidní sval patentoval roku 1972 v USA. Skládal se z měchýře, který měl elastomerní protáhlý tvar se sérií výztužných lanek nebo pramenů natažených od jednoho konce ke druhému. Na rozdíl od dosud představených svalů jsou neelastická vlákna - transformující tlakovou energii na tahovou - zabudována axiálně v pružné membráně svalu

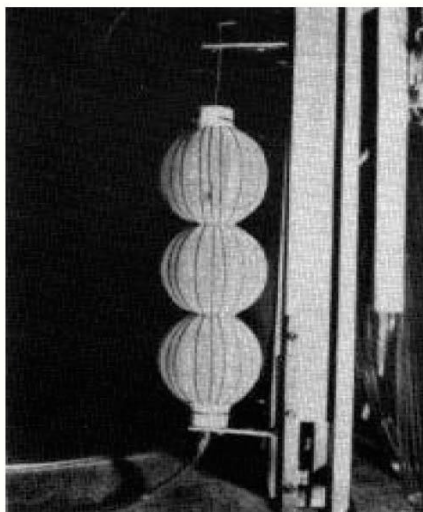
Obr. 5. Radiální vlákna slouží pouze pro zpevnění svalu a omezení maximální expanze. Díky tomu na rozdíl od předchozích svalů, které mají v nafouknutém stavu v principu válcový tvar, Yarlotův sval má protažený sférický tvar. Yarlot navrhl tento sval pro práci při nízkém rozběhu, minimální tlaková hodnota 1,7 kPa.



Obr. 5: Yarlotův pneumtický sval

2.2.3 Wasedův sval

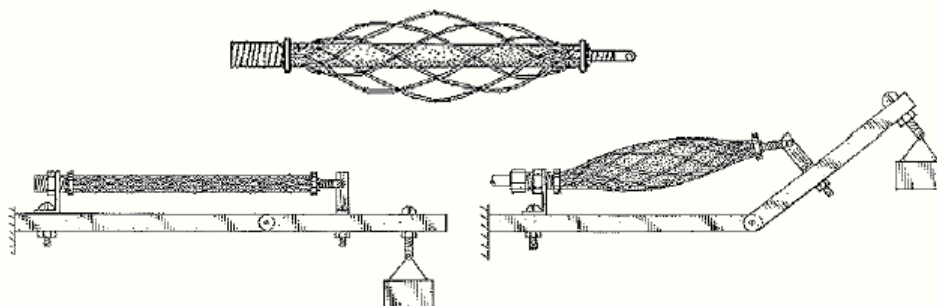
V průběhu 70-t ch let byl na Wasedovi univerzitě v Japonsku vyvinut sval podobný Yarlotovi řešení. Opět byla použita axiální vlákna, navíc rozdělena dvěma pevným radiálními kroužky **Obr. 6**. Hlavním důvodem této úpravy bylo snížení maximálního průměru svalu při kontrakci.



Obr. 6: Wasedův pneumtický sval

2.2.4 Kukoljův sval

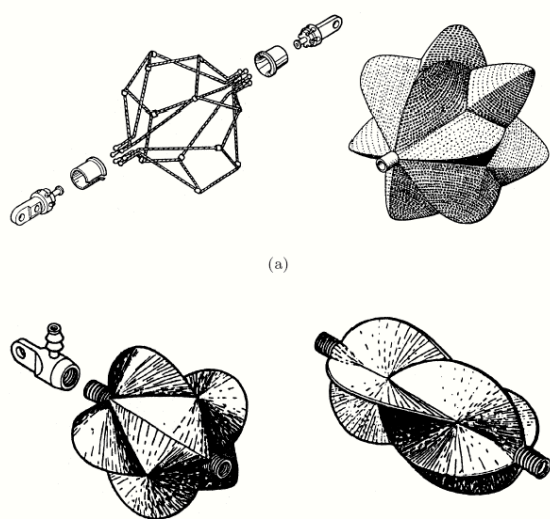
Svůj návrh pneumtického svalu Mirko Kukolj patentoval roku 1988 (**Obr. 7**). Přestože vypadá velice podobně jako McKibbenův sval, podstatně se liší v uzlech opletení svalu. Zatímco splétaná vlákna McKibbenova svalu se mohou vzájemně pohybovat, zde jsou vlákna v místech křížení pevně spojena a tvoří tak jakousi síť. Při nezatíženém stavu je mezera mezi membránou a sítí obalu, která při zatížení zmizí; membrána a síť na sebe doléhají. Důvodem použití této konstrukce je tendence sítě k rychlejšímu stažení než by byla schopna dát samotná membrána, což vede ke kroucení sítě u konců svalu. Díky tomu nastává problém se třením mezi elastickou vrstvou a opletením, které lze řešit lubrikací.



Obr. 7: Kukoljův pneumatický sval

2.2.5 ROMAC

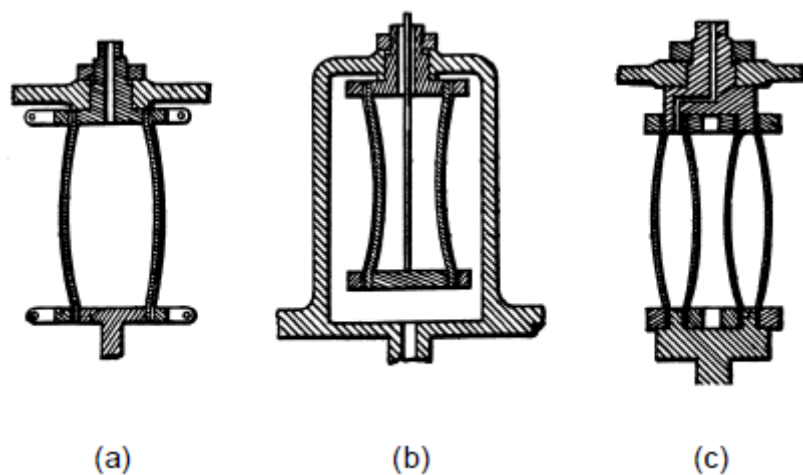
„RObotic Muscle ACTuator“ byl patentován Guyem Immegou a Mirkem Kukoljem roku 1986. Skládá se z členěného měchýře s mnoha laloky vyztuženého drátěnou sítí a uzavřeného u jednoho konce kováním. Svou konstrukcí se nepochodá žádnému z předchozích svalů – je vyroben z neelastického materiálu, který tvoří množství výčnělků s trojúhelníkovým půdorysem zpevněných ve švech vlákem. Vyznačuje se vysokou pevností v tahu. V plně nataženém stavu jsou tyto výčnělky rovnoběžně poskládány, po nafouknutí se vyboulí ven a způsobí tak zkrácení svalu, **Obr. 8**. Tření v této struktuře je minimální, proto ROMAC generuje sílu blízkou maximální teoretické hodnotě, vyniká vysokým relativním zkrácením (až 50 %) a minimální hysterezí. Pro standardní rozměry s délkou 6-30 cm vyvinul svalovou sílu z 4500 na 13600 N při tlaku 700kPa



Obr. 8: Robotický sval ROMAC

2.2.6 Morinův sval:

Má podobný design jako u předchozích svalů, pružná membrána je zkonstruována tak, aby se poddala tlaku tekutiny, a také schopna dále zprostředkovat změny tlaku jmenované tekutiny na měřicí zařízení, ventily a podobné přístroje. Jako materiál Morin používal bavlnu, hedvábí, azbest nebo jiné oceli. V této konstrukci je gumová trubice vyztužená prameny vláken s vysokou tuhostí v tahu. Vlákná mohou být vedena ve směru podélné osy svalu, nebo v dvojité spirále ve stejné ose. Dvoufázová membrána je sevřena na obou koncích kování, které slouží k utěsnění a upevnění nákladu. Možné provozní kapaliny navrhl Morin: Stlačený vzduch, olej, nebo i páry. V jeho patentu, kde navrhuje tři typy o různých způsobech provozu: obr.10 (a) přetlak, obr.10 (b) podtlak, obr.10 (c) soustředné membrány.

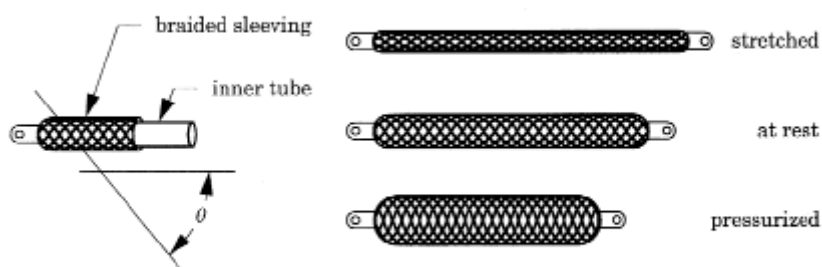


Obr. 9: Morinův sval

2.2.7 Oplétané svaly

Tento typ svalu je odvozen z patentovaného návrhu A. H. Morina v roce 1888, který poprvé vložil vlákna do kaučukové trubice. Oplétané svaly jsou složeny z plynotěsné trubice (nebo měchýře) obklopené lemovaným obalem. Lemující vlákna jsou uložena spirálovitě okolo podélné osy svalu (s předem daným úhlem opletení). Při tlakování tlačí trubice postranně proti obalu, tak je vnitřní tlak z důvodu zakřivení vláken na trubici vyvážen napětím v lemujičích vláknech. Napětí ve vláknech se přenáší na konec opletení, které je připojeno kování k zátěži a toto napětí zapříčiní rovnováhu s vnější zátěží. Protože tlakový kontakt mezi trubicí a obalem je naprosto nezbytný pro zprostředkování zátěže do ní, nemohou

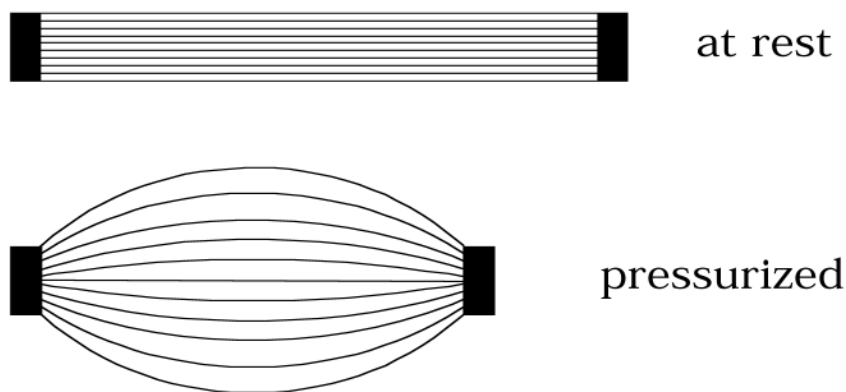
lemované svaly pracovat s podtlakem; došlo by jen ke smrštění trubice bez přenosu potřebné síly do koncového kování. Celkové chování těchto svalů závisí na tvaru, zkracování a napětí při nafukování, které závisí na geometrii vnitřní pružné části, na opletení u kování (je myšlen nenatlakovaný a nezatížený stav) a na použitých materiálech. Obvyklým tvarem lemovaných svalů je válec a obal s konstantním úhlem lemování. Význačné jsou dva typy opletených svalů: jeden má oba konce vnitřní trubice připojené kování u obou konců a druhý má připojené jen lemování a trubice je volná. První typ se všeobecně označuje jako McKibbenův umělý sval, druhý typ se pro zřetelnost označuje jako sval s obaleným měchýřem.



Obr. 10: Opletený sval

2.2.8 Baldwinův sval:

Tento typ svalu je na základě konstrukce Morina. Skládá se z elastomerní membrány, složená velmi tenkou chirurgickou gumou, do které jsou vložena skelná vlákna v axiálním směru. Výsledná membrána má modul pružnosti ve směru vláken, který je mnohem vyšší než ve směru kolmém na vlákna. Vzhledem k neexistenci tření a velmi tenké membráně tento sval vykazuje menší hysterezi a velmi nízký práh tlaku v porovnání s pletenými svaly, ale jeho radiální expanze je poměrně vysoká, a proto tlaky musí být omezeny na nízké hodnoty typicky 10-100 kPa. Provozní životnost při zkouškách za neustálého zvedání a spouštění hmotnosti 45 Kg na přetlak 100 kPa přibližně 10 000 až 30 000 cyklů. Podobný, ale starší design vyvinul K. Nazarczuk v roce 1964 ve Varšavě.



Obr. 11 Baldwinův typ svalu

2.2.9 Fluidní sval FESTO

V historii existují pouze dva významnější pokusy o sériovou výrobu pneumatických svalů. V osmdesátých letech uvedla firma Bridgestone na trh „Rubbernator“, poté ji roku 2002 následoval významný výrobce hydraulických komponent – FESTO. Jeho fluidní sval (**Obr.12**) je pneumatický sval McKibbenova typu. Vzhledově se od něj liší tím, že dvojité spirálové opletení svalu je integrováno do gumové vrstvy stěny svalu. Tak je dosaženo vyšší robustnosti a spolehlivosti nutné pro průmyslové nasazení, ovšem za cenu podstatného zhoršení ostatních parametrů svalu.



Obr. 12: Fluidní sval FESTO.

2.3 Vlastnosti pneumatických svalů

-Vyznačují se mimořádně vysokým poměrem síly a výkonu ku hmotnosti a objemu.

- Mohou být vyrobeny prakticky v libovolné délce a průměru.

- Vlastnosti, tvar a chování jsou srovnatelné s lidskými svaly (přirozená pružnost), což umožňuje jejich snadné vzájemné propojení (protézy, rehabilitace apod.).

-Dosažitelné maximální zkrácení se pohybuje na hranici 30 % jmenovité délky svalu, což je opět srovnatelné s živočišnými svaly.

- Dosud vyvinuté regulátory jsou schopny regulace polohy s přesností lepší než 1 % z rozsahu pohybu a umožňují dosáhnout mezní frekvence více než 10 Hz.

- Tažná síla na jednotku plochy průřezu tvoří až 300 N/cm v porovnání s 40 N/cm² pro živočišný sval.

- Přesný a plynulý chod svalu mezi krajními polohami.

- Nízká cena, vysoká spolehlivost, minimální údržba

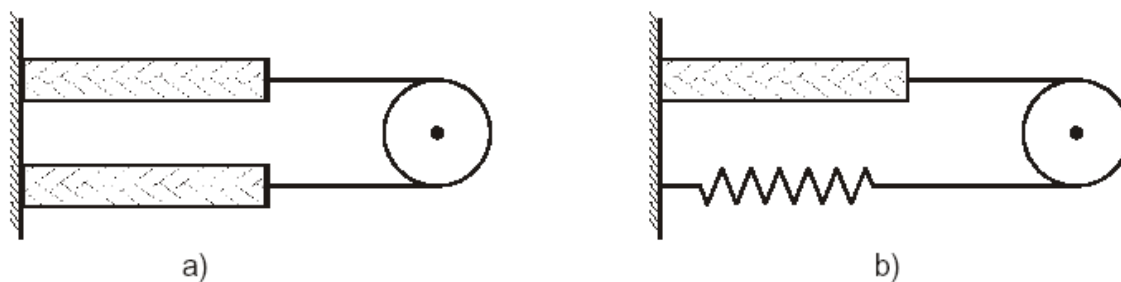
- Hermeticky uzavřená konstrukce odolná proti prachu.

- Vysoká bezpečnost – možnost použití ve výbušném a vlhkém prostředí.



Obr. 13: Sval McKibbenova typu vyroben na UAMT FEKT VUT Brno.

Protože pneumatické svaly mohou vyvíjet aktivní sílu pouze při jednom směru pohybu – kontrakci – musí být vždy uspořádány tzv. antagonisticky, a to buď jako dvojice proti sobě působících svalů (**Obr. 14a**), nebo jeden sval spřažený s pružinou (**Obr. 14b**).



Obr. 14: Antagonistické uspořádání s kladkou: a) dvou svalů, b) svalu a pružiny.

Přímočarý pohyb svalu lze jednoduše převést na pohyb rotační pomocí soustavy táhel a kladek (**Obr. 14**), podobně jako tomu je u živočišných svalů.

Z výše uvedených fakt lze vyvodit závěr, že umělý pneumatický sval je téměř ideálním pohonem zejména pro robotické aplikace. Avšak Přestože vznikly ojedinělé projekty manipulátoru či mobilních robotů s pneumatickými svaly, stále zdaleka nedošlo k jejich většímu rozšíření.

2.4 Problematika u pneumatických svalů

-Potřeba zdroje stlačeného plynu pro pohon svalu. Konveční řešení napájení z tlakové lahve nebo kompresoru jsou nákladná a hmotná. Netradiční řešení (například získávání plynů chemickými reakcemi) se potýkají s problémy s řízením reakce, chlazením a bezpečností provozu.

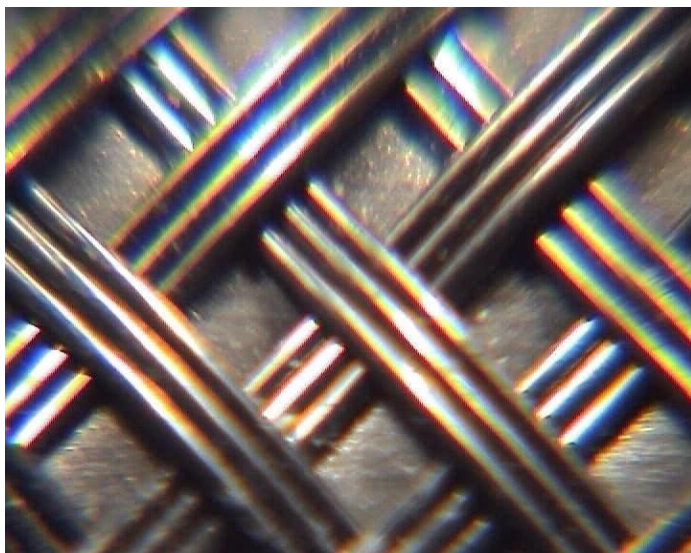
- Obtížně modelovatelné Tření vnitřní struktury pneumatického svalu. Dosud nepøesní modelované tření vylučuje možnost precizního řízení pneumatického svalu.

- Problémy plynoucí ze stlačitelnosti média – přirozená „poddajnost“ svalu.

Z těchto důvodů se pneumatické svaly zatím uplatňují pouze ve stacionárních robotech s nízkými nároky na přesnost polohování (manipulátor SoftArm - Bridgestone) nebo v aplikacích, kde je žádoucí přirozená poddajnost pohonu, jako jsou exoskeletony a rehabilitační pomůcky (7 DOF exoskeleton – Salford University)

3. Konstrukce pneumatického svalu

Pneumatické svaly založené na McKibbenových umělých svalech se zpravidla vyznačují dvouplášťovou válcovou strukturou. Vnitřní vrstva je pružná a nepropustná (nejčastěji tenká gumová hadice), zatímco vnější vrstva je bifilárně spirálovitě splétaná z pevných (např. nylonových) vláken. Podstatou činnosti pneumatického svalu je pantografická struktura, kterou mezi sebou jednotlivá vlákna tvoří. Jednotlivé pantografické buňky převádí radiální tlakovou sílu média (přenášenou vnitřní membránou) na axiální kontrakční sílu. Vlákná bifilární spirálové struktury bývají často zdvojená či ztrojená, aby se dosáhlo kompaktnějšího a současně tenčího opletení, **Obr.15**. Na obou koncích jsou obě vrstvy upnuty a zatěsněny kovovými sponami k duralovým koncovkám s jedním či více plnicími/upevňovacími otvory.



Obr. 15: Makrosnímek opletení pneumatického svalu.

3.1 Princip funkce

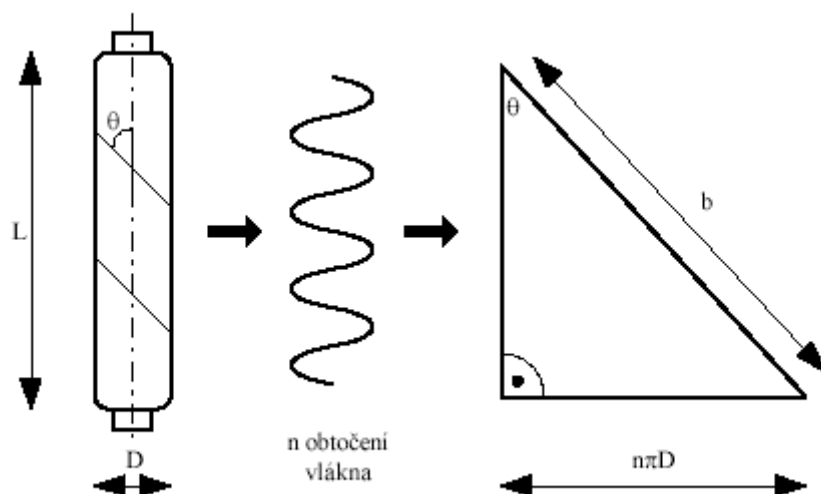
Pokud je pneumatický sval napuštěn médiem pod určitým tlakem, snaží se zaujmout energeticky nejvýhodnější stav – deformuje se do tvaru s co největším objemem. Pokud by nebylo rozpínání svalu nijak omezeno, zaujal by energeticky nejvýhodnější tvar koule – tvar největšího objemu s nejmenším možným povrchem. Rozpínání pneumatického svalu je ale omezeno vlákny opletení, takže energeticky nejvýhodnější stav nastane při jiném tvaru. Bude provedena jednoduchá analýza a určení tohoto tvaru. Při zavedení konstantních parametrů n a b , kde n je počet otočení vlákna kolem válce a b délka vlákna viz **Obr. 16** Pomocí nich a úhlu vláken snadno vyjádříme okamžitou délku L a průměr svalu D .

$$L = b \cdot \cos \theta, \quad D = \frac{b \cdot \sin \theta}{n \cdot \pi}.$$

Objem svalu pak je:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} = \frac{b^3}{4 \cdot \pi \cdot n^2} \cdot \sin^2 \theta \cdot \cos \theta.$$

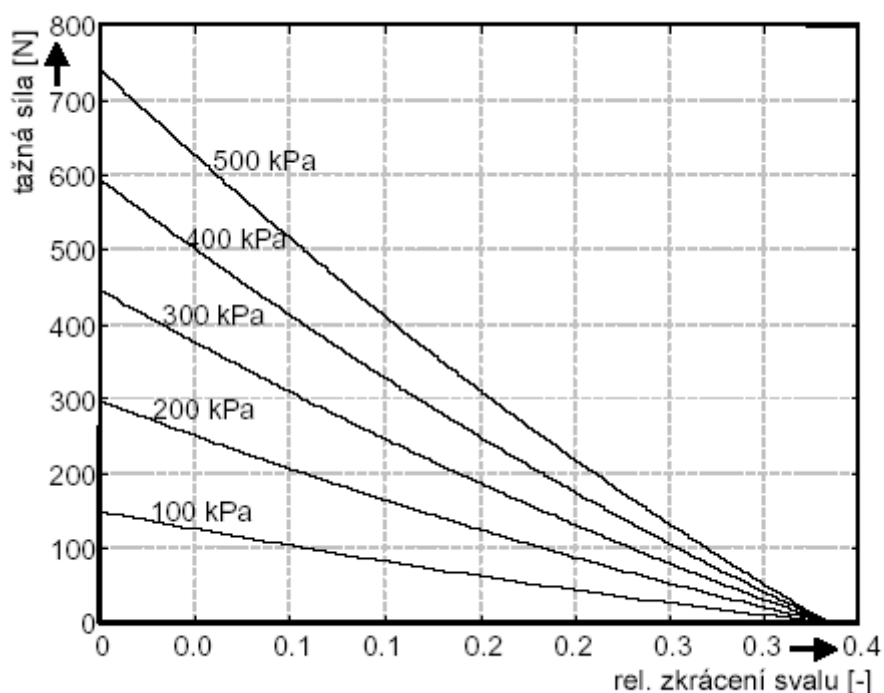
Derivací rovnice objemu svalu podle θ a položením pravé strany rovno nule zjistíme, že funkce má maximum pro velikost úhlu θ přibližně $54,7^\circ$. při tomto úhlu vláken má sval maximální objem a energeticky nejvýhodnější tvar. Z toho plyne, že pokud je úhel vláken menší než $54,7^\circ$, sval působí kontrakční silou, zatímco pokud je úhel větší, sval bude působit expanzivní silou v axiálním směru. V obou případech se snaží dosáhnout energeticky nejvýhodnějšího stavu.



Obr. 16: K určení koeficientů n a b

3.2 Statický model

Pneumatický sval převádí pneumatickou (případně hydraulickou) energii na mechanickou. Působením tlaku média na vnitřní vrstvu válce dochází ke kontrakci svalu a vyvození tažné síly. Tažná síla je přímo úměrná tlaku média uvnitř svalu a je monotónní funkcí úhlu vláken.



Obr. 17: Závislost tažné síly na relativním zkrácení svalu.

3.3 Deformace okrajů svalu

Teoretický model vychází z předpokladu válcového tvaru svalu po celé jeho délce. Okraje reálného svalu ale při kontrakci získávají kónický tvar a aktivní plocha povrchu svalu se tak s rostoucí kontrakcí zmenšuje. Tento efekt lze poměrně účinně a jednoduše kompenzovat zavedením parametru k kterým násobíme kontrakční poměr ε .

Parametr k neovlivňuje velikost maximální síly při nulové kontrakci ($\varepsilon = 0$) – plně natažený sval má skutečně válcový tvar. Z hodnoty maximální dosažitelné kontrakce svalu lze parametr k jednoduše určit ze vztahu.

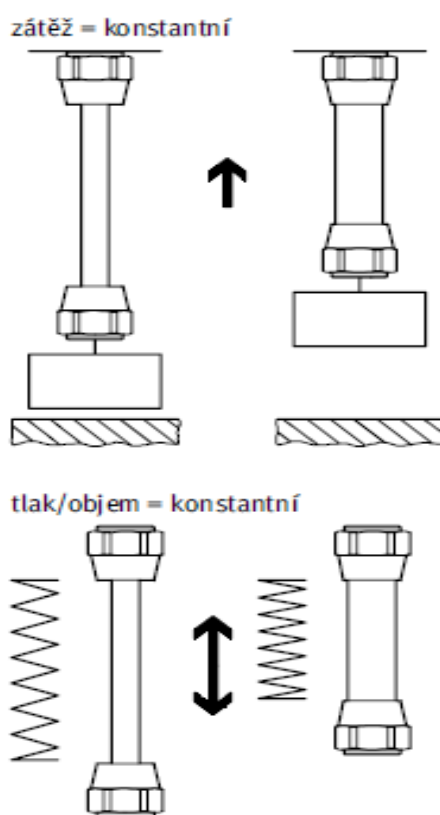
$$\varepsilon_{\max} = (1/k) \left(1 - \sqrt{b/a}\right).$$

3.4 Pružnost vláken

Teoretický model vychází z absolutní tuhosti vláken opletení svalu. Opletení reálného svalu je ale nejčastěji vyrobeno z vláken na bázi nylonu, jehož roztažnost (pružnost) nelze zanedbat. Roztažnost vláken lze nejlépe pozorovat při isometrickém zapojení svalu – při zvyšování tlaku ve svalu roste i jeho objem. Tato skutečnost je umožněna právě roztažností vláken opletení svalu.

4. Fluidní svaly

V nejjednodušším případě pracuje fluidní sval jako jednočinný akční prvek s konstantní zátěží. Jestliže je tato zátěž trvale připojena ke svalu, bude se v expandovaném, beztlakovém stavu natahovat ze své klidové polohy. S ohledem na technické vlastnosti svalu je tento druh provozu ideální: Při přivedení tlaku dosahuje takový natahovací sval maximální síly při optimální dynamice a nejnižší spotřebě vzduchu. Rovněž užitečný zdvih je v tomto případě maximální. Jestliže by sval ve svém expandovaném stavu měl být bez síly, například pro připojení nějaké zátěže, je nejprve nutné zajistit sílu pro zvednutí a pro pohyb zátěže zbývá menší část zdvihu.



Obr. 18 Zátěž fluidního svalu

Při změně vnější síly se sval chová jako pružina: vyrovnává síly. U svalu lze ovlivnit jak předpětí této „pneumatické pružiny“, tak i její tuhost. Sval lze s funkcí pružiny provozovat s konstantním tlakem nebo s konstantním objemem. Jsou k dispozici různé charakteristiky pružení – pružení lze také optimalizovat pro danou úlohu.

Fluidní sval je tažný pohon, který je podobný biologickému svalu. Skládá se z kontrakční hadice a příslušných připojovacích prvků. Kontrakční hadice je vyrobena ze vzduchotěsné gumové hadice ovinuté velmi pevnými vlákny. Tato vlákna vytvářejí kosočtvercový vzor s trojrozměrnou mřížkovou strukturou. Když se přivede vnitřní tlak, hadice se rozšíří směrem vně, což vyvolá tažnou sílu a Kontrakční pohyb v podélném směru svalu. Užitečná tažná síla je maximální na začátku kontrakce a během zdvihu se snižuje téměř lineárně. Hospodárný pracovní rozsah je při kontrakcích až 15% jmenovité délky.

Případy použití jsou:

- jednočinný pohon
- pneumatická pružina

Pneumatický sval je výhradně tažný prvek. Roztahování nelze použít pro upínací úlohy, protože v takovém případě by se membrána poškodila vnějším třením

4.1 DMSP s nalisovanými spoji

Fluidní sval DMSP s nalisovaným připojením je výsledek důsledné analýzy požadavků, které jsou na fluidní svaly kladeny. Takto vzniklý nově vyvinutý výrobek je proto podstatně lehčí, kompaktnější a trvanlivější.

- hustší konstrukce s více svaly, která se dosahuje o 25% kompaktnějším průřezem
- až o 30% nižší hmotnost, což se projevuje vynikajícím poměrem síla/hmotnost



Obr. 19: Fluidní sval DMSP, s nalisovanými spoji

-  velikost
10 ... 40 mm
-  jmenovitá délka
40 ... 9 000 mm
-  posuvová síla
0 ... 6 000 N

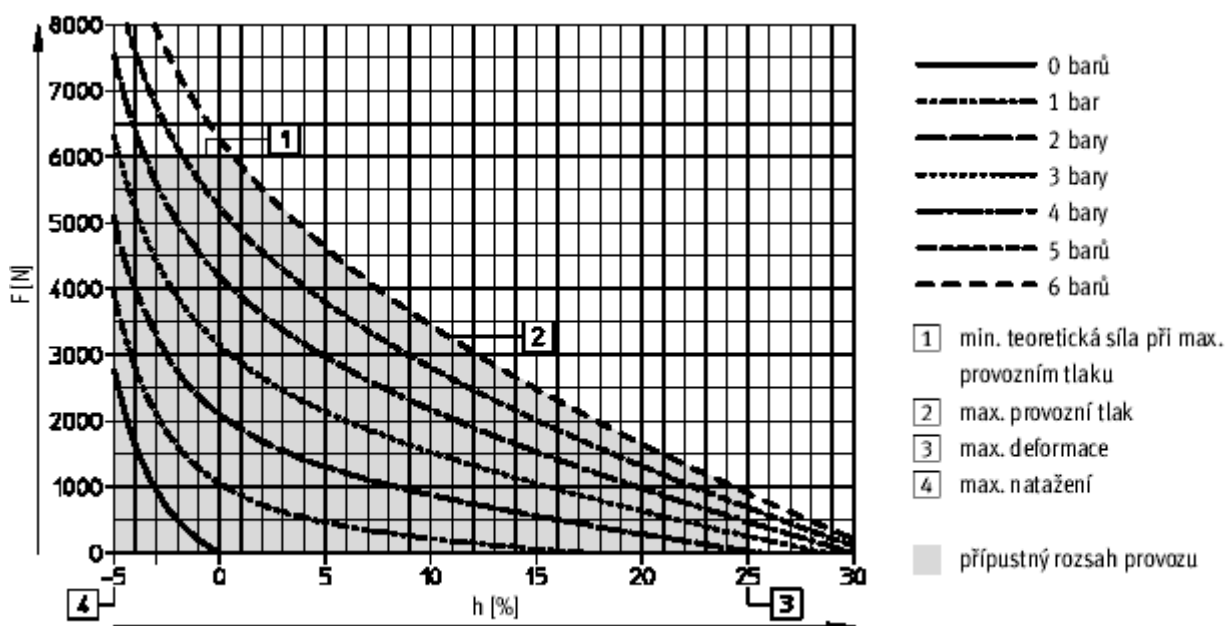
4.1.1 Tabulka obecných technických údajů

Obecné technické údaje			
velikost	10	20	40
připojení pneumatiky	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{4}$	G $\frac{3}{8}$
konstrukce	kontrakční membrána		
způsob činnosti	jednočinný tažný pohon		
vnitřní Ø [mm]	10	20	40
jmenovitá délka [mm]	40 ... 9 000	60 ... 9 000	120 ... 9 000
max. zátěž, volně zavěšená [kg]	30	80	250
max. přípustné natažení ⁽¹⁾	3% jmenovité délky	4% jmenovité délky	5% jmenovité délky
max. přípustná kontrakce	25% jmenovité délky		
max. hystereze	≤ 3% jmenovité délky		≤ 2,5% jmenovité délky
max. dopružování	≤ 3% jmenovité délky		
opakovatelná přesnost	≤ 1% jmenovité délky		
max. přípustné vybočení připojení	úhlová tolerance: ≤ 1,0°		
	tolerance rovnoběžnosti: ± 0,5% (do 400 mm jmenovité délky), ≤ 2 mm (od 400 mm jmenovité délky)		
způsob upevnění	příslušenstvím		
montážní poloha	libovolná (pokud vznikají příčné síly, je nutné vnější vedení)		

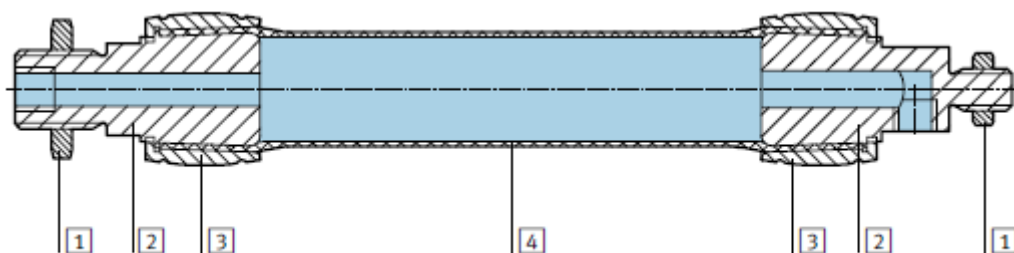
Provozní a okolní podmínky			
velikost	10	20	40
provozní tlak [bar]	0 ... 8	0 ... 6	
provozní médium	filtrováný stlačený vzduch, mazaný nebo nemazaný (jiná média na vyžádání)		
teplota okolí [°C]	-5 ... +60		
odolnost korozi KBK ⁽²⁾	2		

Síly [N] při max. přípustném provozním tlaku			
velikost	10	20	40
teoretická síla	630	1 500	6 000

Pracovní diagram síla-zdvih pro zvolený vnitřní průměr $d = 40\text{mm}$:



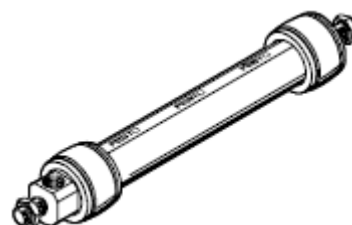
4.1.2 Funkční řez:



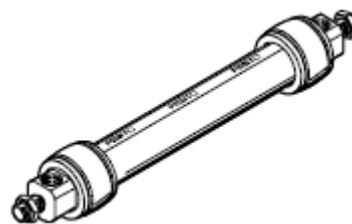
- [1].....matice (pozinkovaná ocel)
- [2].....příruba (tvárný legovaný hliník, bezbarvý eloxovaný)
- [3].....dutinka (tvárný legovaný hliník, bezbarvý eloxovaný)
- [4].....membrána (chloroprén, aramid)

4.1.3 Varianty přívodu:

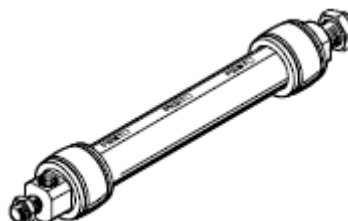
fluidní sval s radiálním přívodem z jedné strany RM-CM



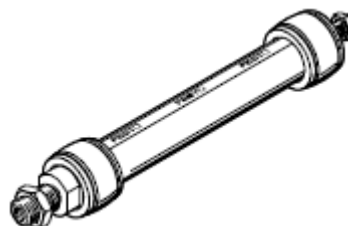
fluidní sval s radiálními přívody z obou stran RM-RM



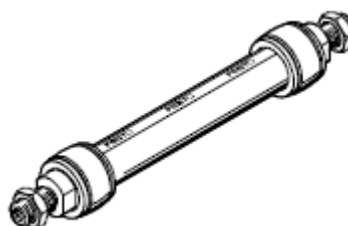
fluidní sval s axiálním a radiálním přívodem RM-AM



fluidní sval s axiálním přívodem z jedné strany AM-CM



fluidní sval s axiálními přívody z obou stran AM-AM



4.2 MAS se šroubovanými spoji

Fluidní sval MAS se vyznačuje dlouhou trvanlivostí, která je možná díky optimalizovaným materiálům.

-pomocí silové pojistky je možné omezit sílu zdvihu, což lze využít např. k ochraně před uskřípnutím



Obr. 20: Fluidní sval MAS, se šroubovanými spoji

-  - velikost
10 ... 40 mm
-  - jmenovitá délka
40 ... 9 000 mm
-  - posuvová síla
0 ... 6 000 N

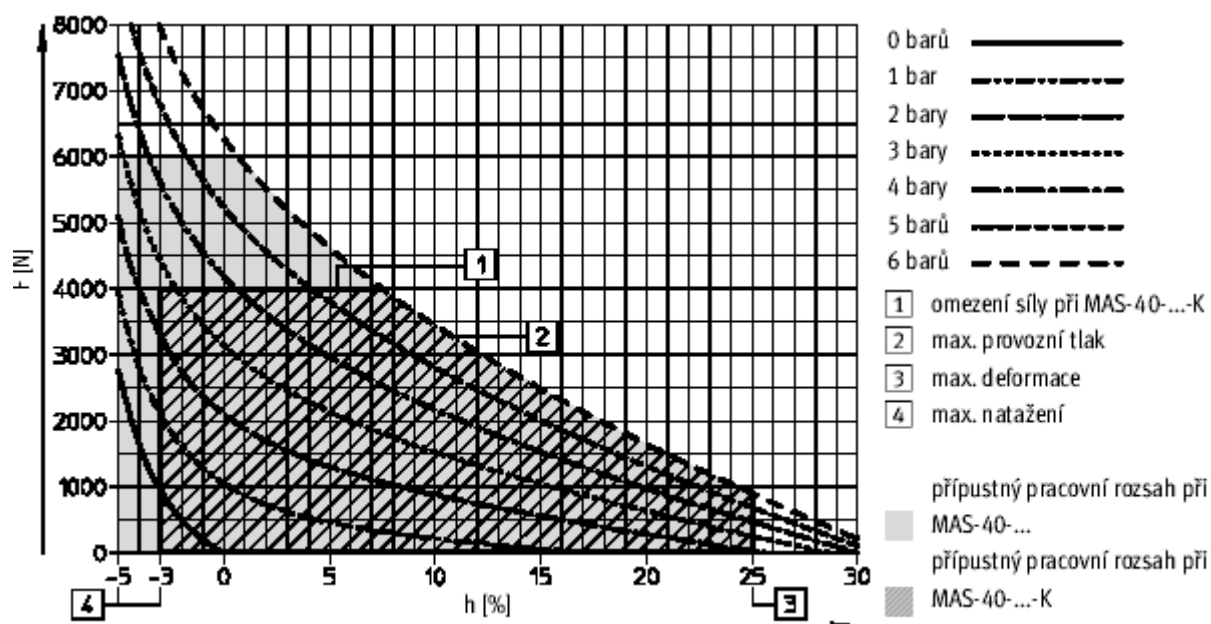
4.2.1 Tabulka obecných technických údajů

Obecné technické údaje				
velikost		10	20	40
připojení pneumatiky		→ adaptér MXAD-... od strany 1 / 5.6-30		
konstrukce		kontrakční membrána		
způsob činnosti		jednočinný tažný pohon		
vnitřní Ø	[mm]	10	20	40
jmenovitá délka	[mm]	40 ... 9 000	60 ... 9 000	120 ... 9 000
max. zátěž, volně zavěšená	[kg]	30	80	250
max. přípustné natažení ¹⁾	bez omezení síly	3% jmenovité délky	4% jmenovité délky	5% jmenovité délky
	s omezením síly	3% jmenovité délky	3% jmenovité délky	3% jmenovité délky
max. přípustná kontrakce		25% jmenovité délky		
max. hystereze		≤ 3% jmenovité délky		≤ 2,5% jmenovité délky
max. dopružování		≤ 4% jmenovité délky		≤ 3% jmenovité délky
opakovatelná přesnost		≤ 1% jmenovité délky		
způsob upevnění		příslušenstvím		
montážní poloha		libovolná (pokud vznikají příčné síly, je zapotřebí externí vedení)		

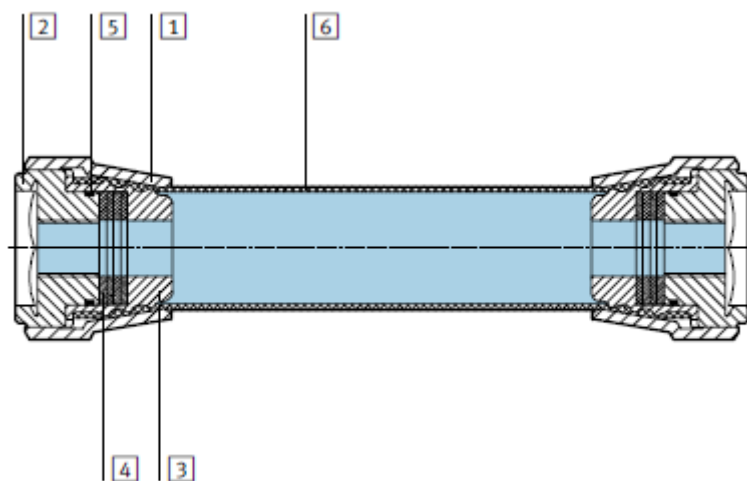
Provozní a okolní podmínky				
velikost		10	20	40
provozní tlak	[bar]	0 ... 8		0 ... 6
provozní médium		filtrovaný stlačený vzduch, mazaný nebo nemazaný (jiná média na vyžádání)		
teplota okolí	[°C]	-5 ... +60		
odolnost korozi KBK ²⁾		2		

Síly [N] při max. přípustném provozním tlaku				
velikost		10	20	40
teoretická síla		630	1 500	6 000
omezení síly		400	1 200	4 000

Pracovní diagram síla-zdvih pro zvolený vnitřní průměr $d = 40\text{mm}$:



4.2.2 Funkční řez:



[1].....převlečná matice (tvárný legovaný hliník, bezbarvý eloxovaný)

[2] příruba (tvárný legovaný hliník, modře eloxovaný)

[3] vnitřní kužel (tvárný legovaný hliník, bezbarvý eloxovaný)

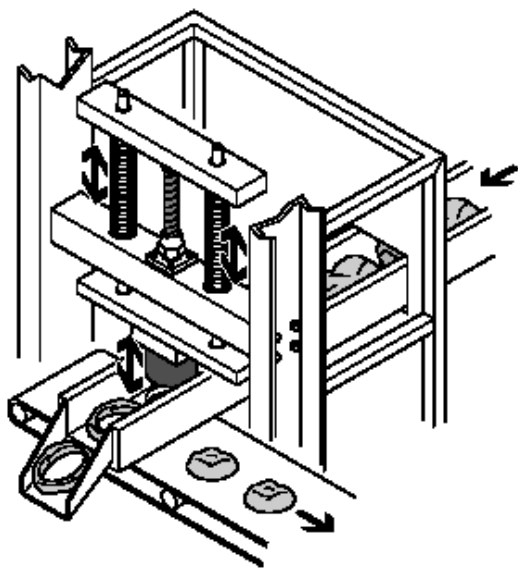
[4] talířové pružiny (ocel)

[5] těsnicí kroužek (nitrilkaučuk)

[6] membrána (chloroprén, aramid)

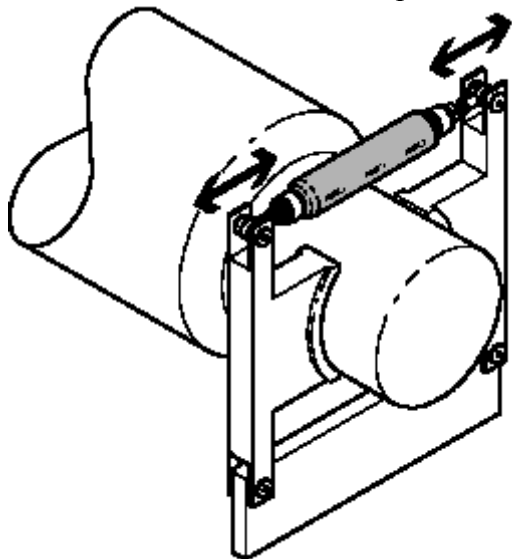
5. Příklad použití pneumatického svalu

Pohon vysekávačky:



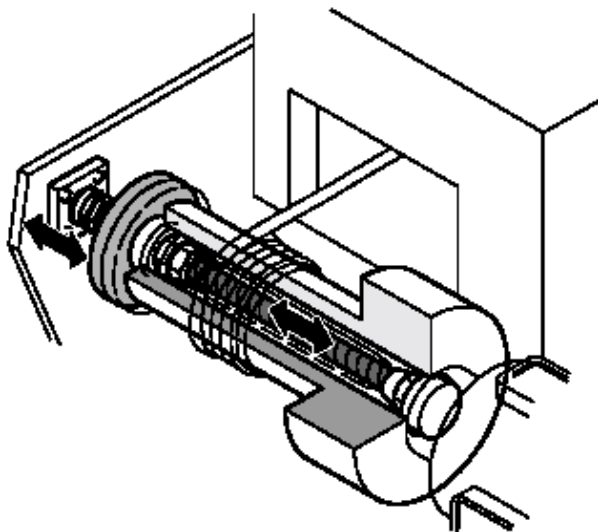
Se svaem lze dosahovat velmi krátkých pracovních časů. Jedním důvodem je jeho nízká hmotnost. Druhým důvodem je to, že nemá pohyblivé části, například píst. Jednoduchá konstrukce – sval napnutý dvěma pružinami – nahrazuje komplikovanější systém kolenopákového mechanismu s válcem. Tak je možné zvýšení frekvence ze 3 na 5 Hz a dosáhnout přes 10 milionů pohybů

Zařízení nouzového nastavení pro válcování:



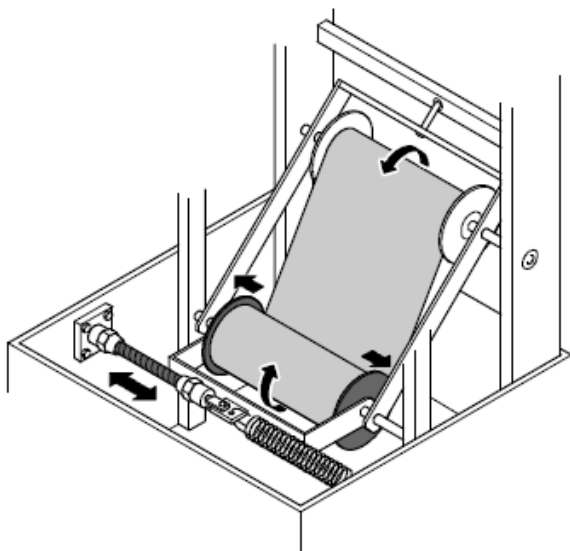
V úlohách, které vyžadují rychlé reakce, stanoví fluidní sval nová měřítka. U zařízení nouzového zastavení pro válcování se kromě rychlosti požaduje také síla. Tím lze zamezit dlouhodobým prostojům stroje v případech poruchy.

Brzdící mechanismus pro odvíjecí zařízení:



Sval, který nemá tření, dokáže zajistit rovnoměrné a plynulé brzdění odvíjecího bubnu. Tak lze při konstantní rychlosti dosahovat velmi přesného odvíjení. Ovládá se proporcionálním ventilem, jehož signály jsou řízeny čidly síly.

Řízení okrajů pásů při navíjení

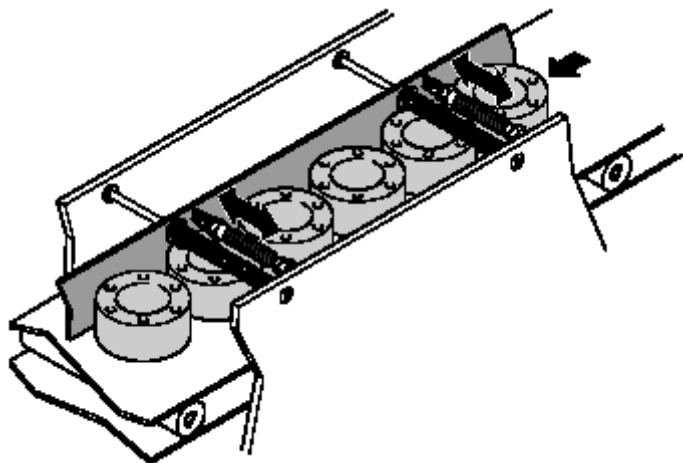


Cíl: rovnoměrné navíjení papíru, fólie nebo textilie.

Požadavek: pohon bez tření s rychlou a bezprostřední reakcí.

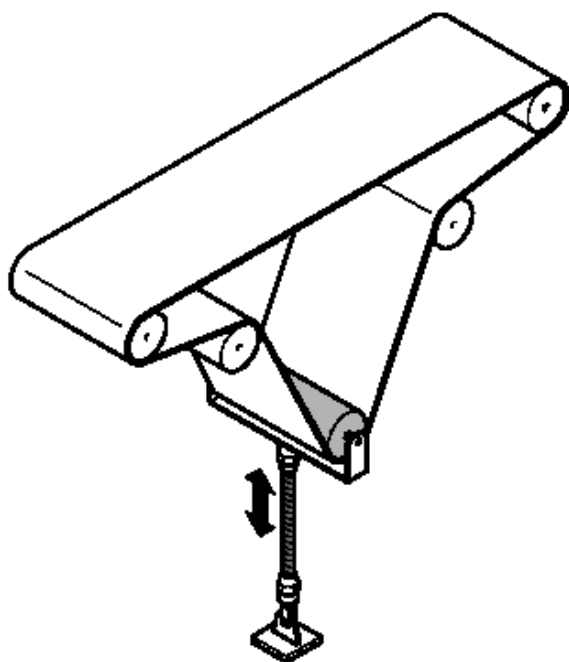
Řešení: sval. Buben instalovaný na pohyblivém rámu se vychyluje fluidním svalem, vždy když čidlo zaznamená chybnou polohou. Hrana štůčku je pak vždy stoprocentně přesná

Nastavení šířky na dopravních pásech:



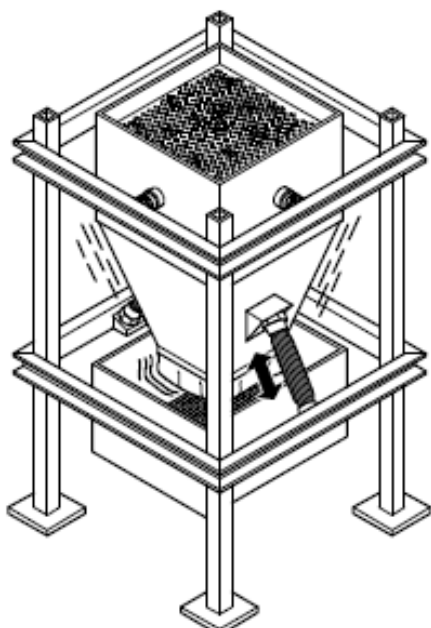
U malých výrobních sérií často bývá nutné po krátké době nastavit celé výrobní zařízení na jiné rozměry výrobků. Pokud stačí hrubé nastavení, lze tuto úlohu snadno řešit fluidním svalem.

Napínák dopravního pásu:



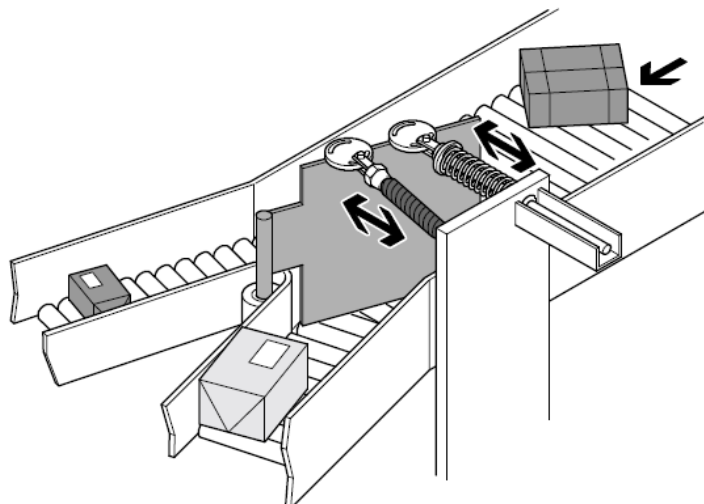
V prašném nebo znečištěném prostředí je hermeticky uzavřený fluidní sval jasně ve výhodě oproti běžným pohonům. Nemá žádné těsnění, které by se opotřebilo. Konstrukci tvoří pouze robustní hadice, kterou lze snadno použít i v cementářském průmyslu.

Pohon jako budič kmitu



V zásobnících nebo silech vznikají při přívodu stále problémy se vznikem bariér. Pomocí svalu lze regulovat pneumatické klepadlo plynule v rozsahu $f = 10$ až 90 Hz. Tím je zaručen plynulý proces dopravy.

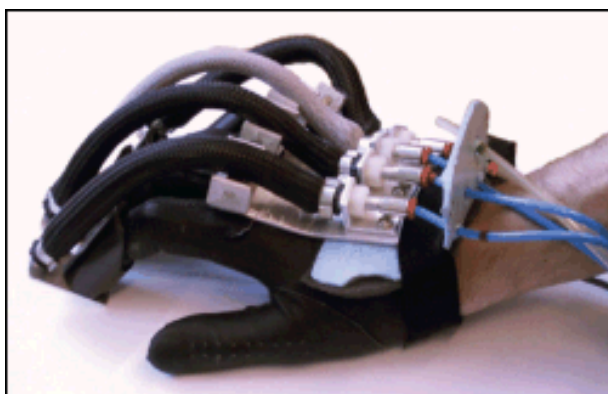
Pohon výhybky:



Ideální pohon pro třídění a zastavovací funkce v dopravníkových procesech: Sval nabízí vysoké rychlosti a také velké zrychlení. Díky krátkým reakčním časům lze výrazně zvýšit takt stroje.

Hmatová rukavice s pneumatickými svaly

Hmatová – haptická rukavice je určena k přenosu hmatových a silových vjemů z virtuálního či reálného prostředí na hmatové a silové receptory prstů operátora. Hlavními oblastmi použití hmatové rukavice jsou virtuální realita a teleprezence (telemanipulace), ale i rehabilitace a další lékařské obory. Jedn z slibných pohonů vhodných pro použití ve hmatových rozhraních je McKibbenův pneumatický sval. Právě jeho podobnost s lidskými kosterními svaly jej předurčuje pro použití v aplikacích požadujících bezpečné a vysoce funkční přímé propojení člověka se strojem.

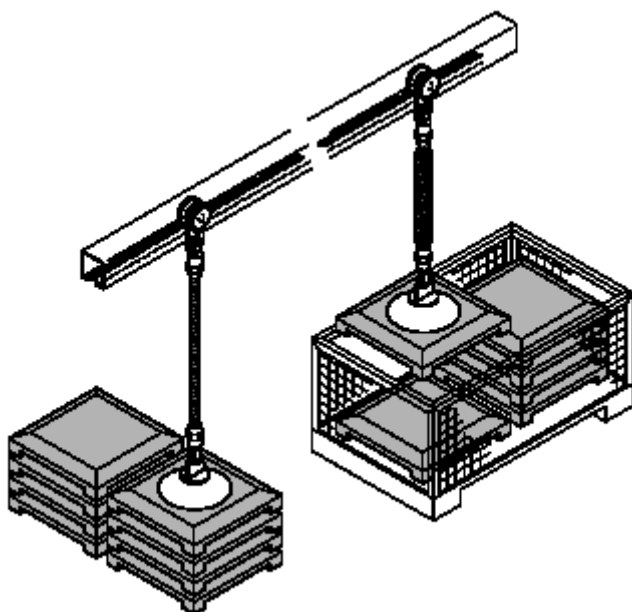


Obr. 20 Hmatová rukavice s pneumatickými svaly

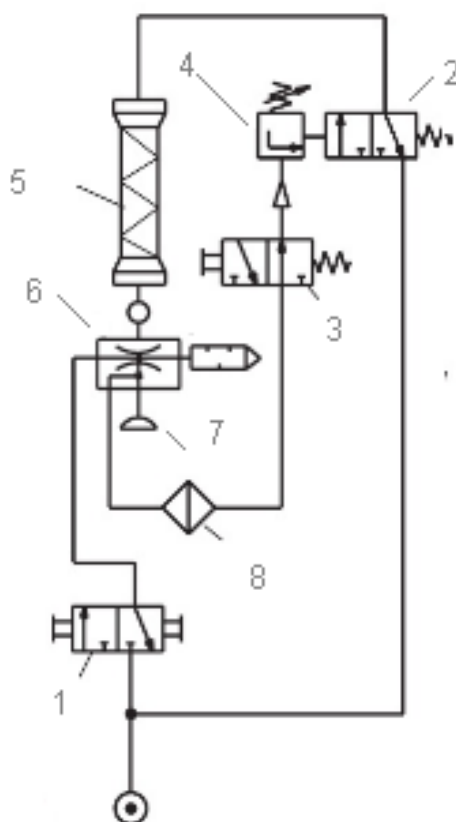
6. Návrh zvoleného manipulačního zařízení:

Jednoduché polohovací systémy:

Snadné zvedání při manipulaci s plastovými výlisky nebo betonovými dlaždicemi a ráfky nákladních vozů. S regulací tlaku je to velmi snadné: Natlakováním nebo odvětráním svalu pomocí ventilu s ruční pákou můžete podle přání zvedat nebo pokládat obrobky. Sval může mít délku až 9 m, takže možnosti jeho uplatnění jsou opravdu široké. U tohoto případu se plastové výlisky o váze 20 kg dopraví pásovým dopravníkem, nebo jiným způsobem (vysokozdvíhový a paletový vozík) na požadované místo, kde jej toto zařízení uchytí, zdvihne o požadovanou délku 50 mm a přesune do kovové bedny.



6.1 Schéma pneumatického obvodu:



- 1- - rozvaděč 3/2 ovládaný tlačítkem z obou stran, 2- rozvaděč 3/2 elektromagneticky a vzduchem ovládaný, 3- rozvaděč 3/2 ovládaný tlačítkem, 4- redukční ventil, 5- pneumatický sval, 6- vakuový ejektor, 7- vakuová přísavka, 8- vakuový filtr

6.2 Výpočet pneumatického svalu:

Požadovaná hmotnost: $m=20\text{ kg}$

Požadovaná síla v klidové poloze: $F=0\text{ N}$

Požadovaný zdvih: $H=50\text{ mm}$

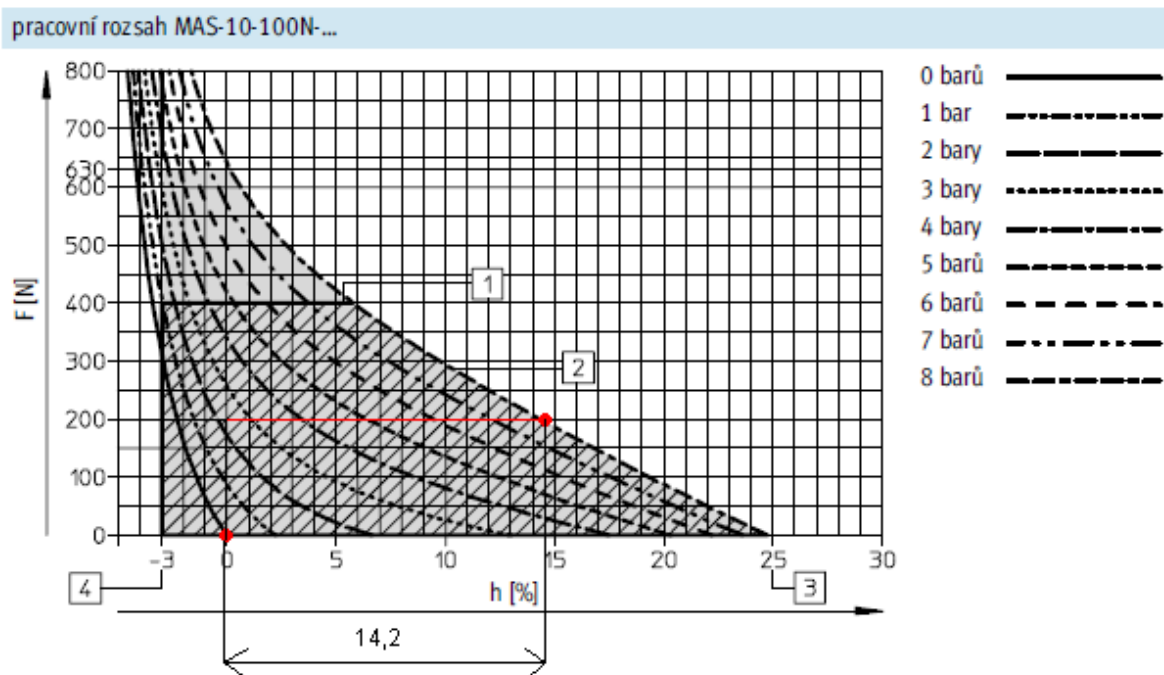
Požadovaná síla ve staženém svalu: $F=200\text{ N}$

Provozní tlak: $P=6\text{ barů}$

Určení vhodného průměru svalu v závislosti na potřebné síle: Na výběr je sval MAS 10 z tabulky obecných technických údajů podle maximální zátěže v [kg]

Odečtení změny délky:

Změna délky svalu se odečte mezi body zatížení na ose X (kontrakce v %).



Výsledek: 14,2 % kontrakce

Výpočet jmenovité délky: Při požadovaném zdvihu 50 mm se zjistí jmenovitá délka svalu dělením kontrakcí v %.

Výsledek: $50\text{ mm} / 14,2\% \sim 353\text{ mm}$

Jmenovitá délka svalu je $l=353\text{ mm}$.

Pro zavěšení 20 kg a zdvih o 50 mm je potřebný sval MAS-10-353N-AA-

$D_1=M10 \times 1,25$

Viz. technické údaje 4.1 MAS se šroubovanými spoji

6.3 Volba vakuového ejektoru

Typ: OVEM



6.3.1 Tabulka obecných technických údajů

Typ		OVEM-05			OVEM-07			OVEM-10			OVEM-05			OVEM-07			OVEM-10			
připojení pneumatiky		QO	GO	PO	QO	GO	PO	QO	GO	PO	QS	GN	PL	QS	GN	PL	QS	GN	PL	
jmenovitá světlost Lavalovy trysky	[mm]	0,45			0,7			0,95			0,45			0,7			0,95			
rozteč	[mm]	20																		
charakteristika ejektoru		hluboké vakuum/standard H																		
		velký průtok sání/standard L																		
jemnost filtru	[µm]	40																		
doba sepnutí	[%]	100																		
konstrukce		modulární																		
montážní poloha		libovolná																		
upevnění		průchozími dírami																		
		vnitřním závitem																		
		příslušenstvím																		
připojení pneumatiky 1		QS6	G1/8	–	QS8	G1/4	–	QS8	G1/4	–	QS6	G1/8	–	QS8	G1/4	–	QS8	G1/4	–	
připojení vakua		QS6	G1/8	QS6	QS8	G1/4	QS8	QS8	G1/4	QS8	QS6	G1/8	QS6	QS8	G1/4	QS8	QS8	G1/4	QS8	
připojení pneumatiky 3		integrován otevřený tlumič hluku										QS8	G1/8	QS8	QS8	G1/8	QS8	QS8	G1/8	QS8
konstrukce tlumiče hluku		v klidu otevřen										–								
integrováná funkce	ON/CN	elektrický spínací ventil																		
		vakuové čidlo																		
		filtr																		
		otevřený tlumič hluku										–								
	OE/CE	elektrický spínací ventil																		
		elektrický vyfukovací impuls																		
		škrtkový ventil																		
		vakuové čidlo																		
		elektrická úspora vzduchu																		
		zpětné ventily																		
		filtr																		
		otevřený tlumič hluku										–								
		funkce ventilu	ON/OE	otevřený																
CN/CE	v klidu uzavřen																			
pomocné ruční ovládání		tlačítkem																		
		ovládacími tlačítky (elektricky)																		

6.3.2 Výkonnostní a provozní parametry

Provozní a okolní podmínky:

Typ	OVEM-05/07/10-...-QO/PO/GO	OVEM-05/07/10-...-QS/GN/PL
provozní tlak [bar]	2 ... 8	2 ... 6
jmenovitý provozní tlak [bar]	6	
provozní médium	filtrovaný nemazaný stlačený vzduch, jemnost filtrace 40 µm	
teplota okolí [°C]	0 ... +50	
teplota média [°C]	0 ... +50	
odolnost korozi KBK ¹⁾	2	
značka CE (viz prohlášení o shodě)	dle směrnice EU-EMV	
certifikát	C-Tick	

Výkonnostní parametry – hluboké vakuum:

Typ	OVEM-05				OVEM-07				OVEM-10			
klíďová poloha vakuového ejektoru	ON	OE	CN	CE	ON	OE	CN	CE	ON	OE	CN	CE
max. vakuum [%]	93											
provozní tlak pro max. vakuum [bar]	5,1				4,1				3,5			
max. průtok sání vůči atmosféře [l/min]	6				16				19,5			
nasávaný objemový průtok [l/min] při $p_1 = 6$ barů	5,9				15,1				16,8			
doba na odsátí objemu ¹⁾ 1 l, při $p_1 = 6$ barů [s]	4,8	2	4,8	2	1,9	0,4	1,9	0,4	1,2	0,2	1,2	0,2
hlučnost při $p_1 = 6$ barů db(A)	51				58				73			

Výkonnostní parametry – velký odsávaný objemový průtok:

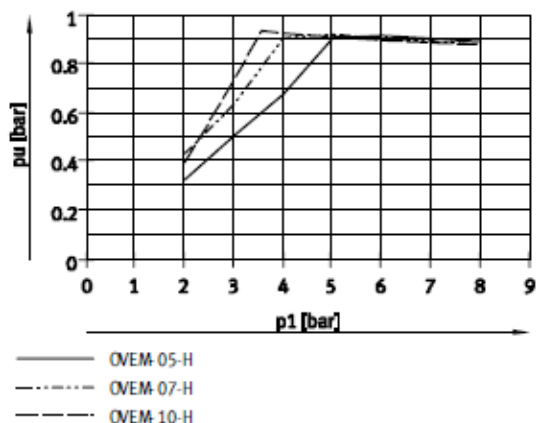
Typ	OVEM-05				OVEM-07				OVEM-10			
klíďová poloha vakuového ejektoru	ON	OE	CN	CE	ON	OE	CN	CE	ON	OE	CN	CE
max. průtok sání vůči atmosféře [l/min]	13				31,5				45			
nasávaný objemový průtok [l/min] při $p_1 = 6$ barů	12,8				31,5				45			
doba na odsátí objemu ¹⁾ 1 l, při $p_1 = 6$ barů [s]	2	1,3	2	1,3	1	0,2	1	0,2	0,8	0,2	0,8	0,2
hlučnost při $p_1 = 6$ barů db(A)	45				53				64			

Z požadovaných parametrů vakuové přísavky volím ejektor **OVEM-10-H-B-QS-ON-N-2P**

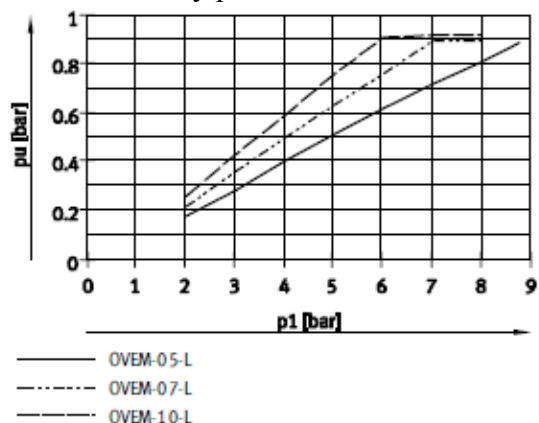
6.3.3 Charakteristiky

Vakuum p_u v závislosti na provozním tlaku p_1 :

hluboké vakuum

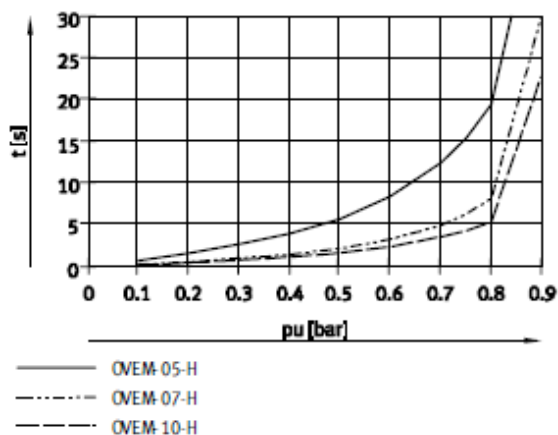


velký průtok sání

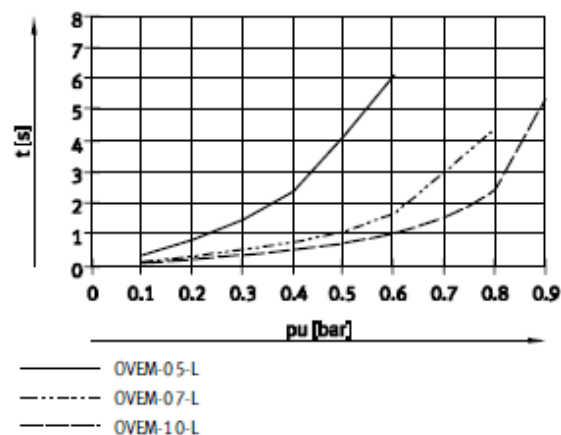


Čas t na odsátí objemu 1 l v závislosti na vakuu p_u při provozním tlaku 6 barů:

hluboké vakuum

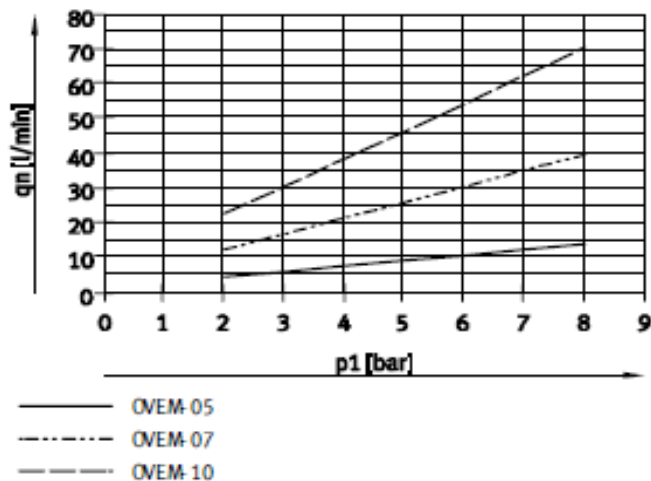


velký průtok sání



Spotřeba vzduchu q_n v závislosti na provozním tlaku p_1 :

hluboké vakuum/velký průtok sání



6.4 Volba vakuové přísavky

určení průměru přísavky:

Teoretická nosná síla přísavky:

D=60mm=>volím podle technických rozměru v katalogu FESTO

P=85 kPa

$$F_H = \frac{D^2 \times \pi}{4} \times p \times 0,001 = \frac{60^2 \times \pi}{4} \times 85 \times 0,001 = 240,3N$$

F_H – teoretická nosná síla (N)

D – průměr přísavky

p – vakuum (kPa)

Zavedením počtu použitých přísavek **n** a součinitele bezpečnosti **s** do předcházející rovnice můžeme po její úpravě vypočítat průměr použité přísavky **D**:

m= 20 kg

s=> volím 4

P=85 kPa

n =1 ks

$$D = \sqrt[2]{\frac{4 \times m \times g \times s \times 1000}{\pi \times p \times n}} = \sqrt{\frac{4 \times 20 \times 9,81 \times 4 \times 1000}{\pi \times 85 \times 1}} = 108,4mm \gg \text{volím průměr}$$

přísavky 125mm podle katalogu FESTO

D – průměr přísavky (mm)

P – vakuum (kPa)

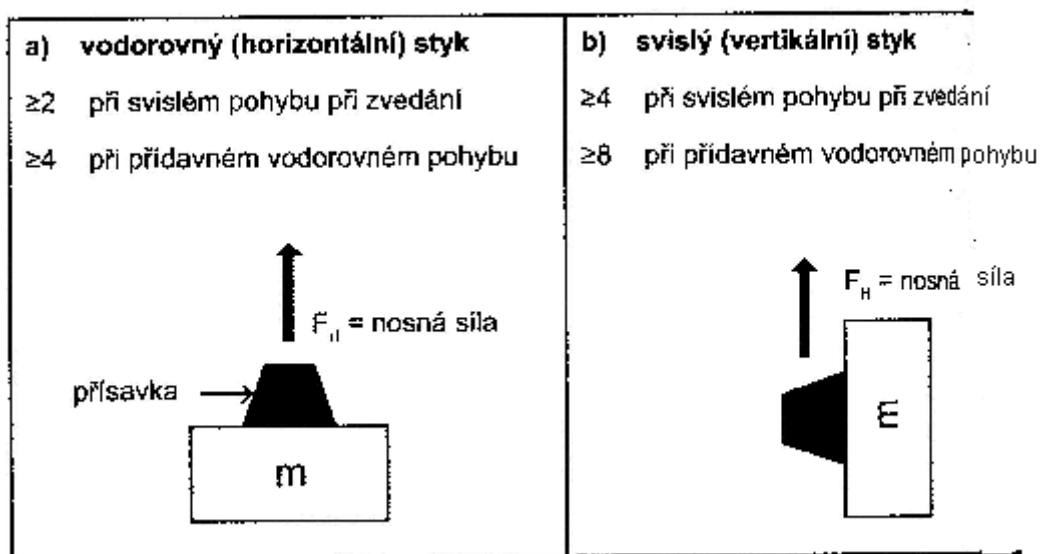
m – hmotnost (kg)

g – gravitační zrychlení (g= 9.81m/s²)

n – počet přísavek (ks)

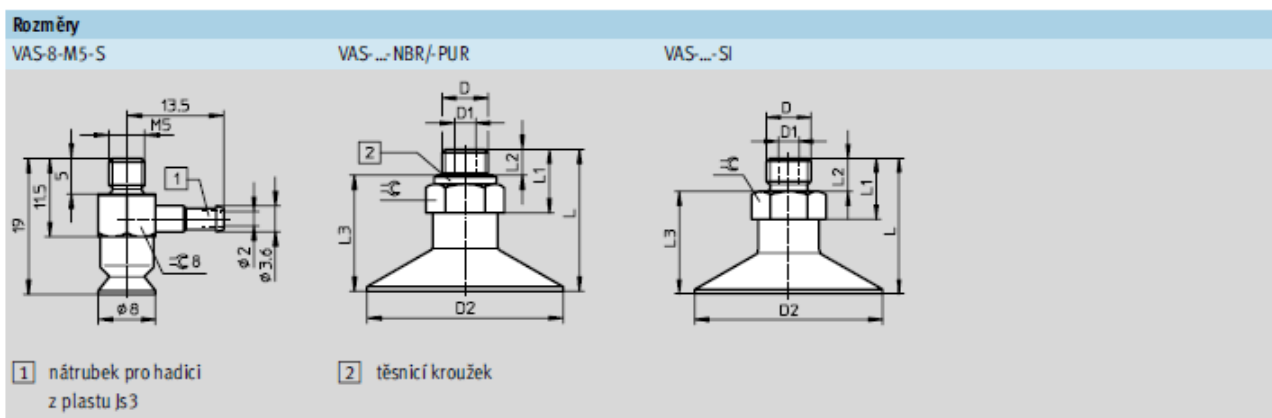
s – součinitel bezpečnosti

Určení součinitele bezpečnosti s :



6.4.1 Tabulka obecných technických údajů

Obecné technické údaje										
Ø přísavky	konstrukce	připojení vakua	upevnění	jmenovitá světlost	účinný Ø přísavky	tvrdost Shore	odtrhovací síla při 70% vakuu	hmotnost		
[mm]				[mm]	[mm]		[N]	NBR [g]	PUR [g]	SI [g]
1	připojení vakua shora, kruhový tvar, standardní	M3	připojovací závit	0,4	0,8	55±5	0,035	1	–	–
2		M3		1	1,6	55±5	0,14	11	–	–
5		M5		1,5	4	55±5	0,9	2	–	–
8		M5 ¹⁾		2	5,5	73	1,6	4	4	2
10		M5		2	8	73	4,5	3	3	3
15		G½		3	12	73	7,9	11	11	6
30		G½		3	25	73	34	13	13	7
40		G¾		4	32	73	56	26	27	13
55		G¾		4	44	73	106	32	32	16
75		G¾		4	60	73	197	76	78	36
100		G¾		4	85	73	397	138	142	67
125		G¾		7	105	73	606	152	148	148

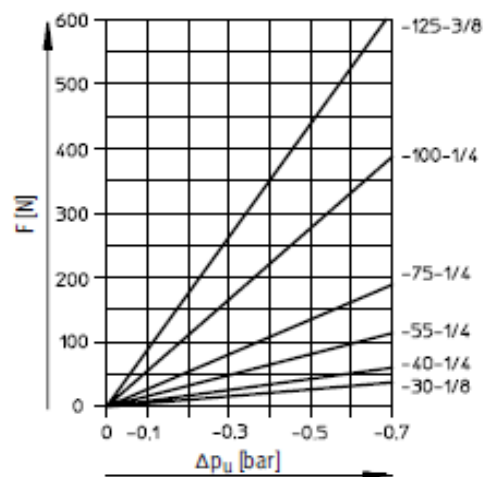
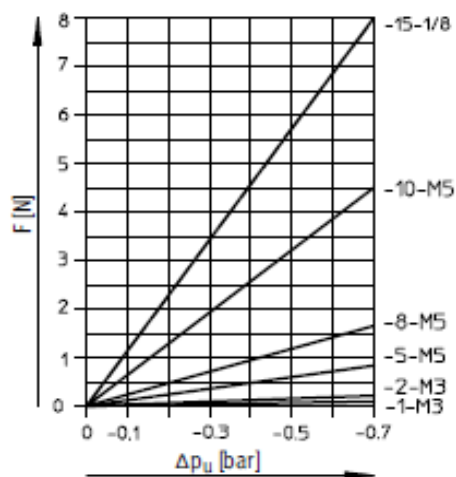


typ	D	D1 Ø	D2 Ø	L	L1	L2	L3	⌀
VAS-...-NBR								
VAS-1-M3-NBR ¹⁾	M3	0,9	1	6,6	5	3	3,6	4,5
VAS-2-M3-NBR ¹⁾	M3	1	2	9	5	3	6	4,5
VAS-5-M5-NBR	M5	1,5	5	16,5	11,5	3,5	13	8
VAS-8-M5-NBR	M5	2	8	18,7	11,5	3	15,7	8
VAS-10-M5-NBR	M5	2	10	19,2	11,5	3,5	15,7	8
VAS-15-1/8-NBR	G1/8	3	15	20	12	4,7	15,3	13
VAS-30-1/8-NBR	G1/8	3	30	21,5	12	4,7	16,8	13
VAS-40-1/4-NBR	G1/4	4	40	30,5	19	5,8	24,7	17
VAS-55-1/4-NBR	G1/4	4	55	33,5	19	5,8	27,7	17
VAS-75-1/4-NBR	G1/4	4	75	27	18	5,8	21,2	17
VAS-100-1/4-NBR	G1/4	4	100	27	18	5,8	21,2	17
VAS-125-3/8-NBR	G3/8	7	125	36	20	6	30	19

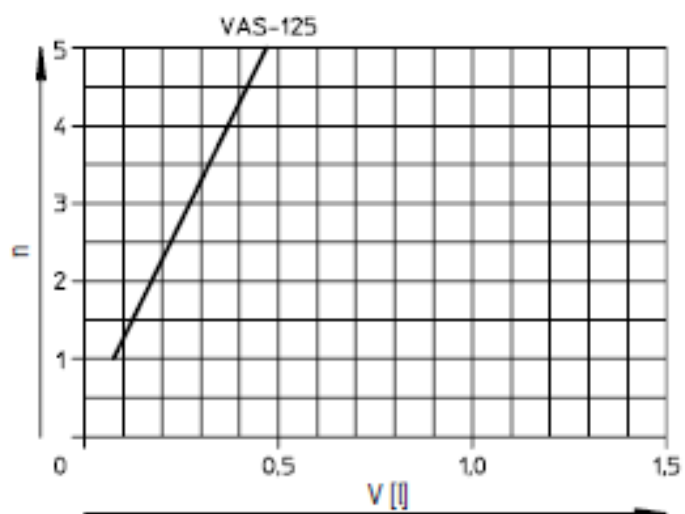
Z přiložené tabulky technických rozměrů vakuových přísavek volím dle zadaných parametrů přísavku **VAS-125-3/8-NBR**

6.4.2 Charakteristiky

Teoretická sací síla F v závislosti na vakuu p_u :



Objem přísavek pro VAS 125:



7. Závěr

Pneumatický sval byl vyroben syntetický a svými funkčními vlastnostmi dokáže dobře napodobit sval lidský. Díky spojením těchto vlastností se stal inspirací mnoha výzkumných pracovníků, kteří usilují o jeho stálé zdokonalování. Vyrábějí se nejčastěji ve tvaru válcovém s dvouplášťovou strukturou, která je nepropustná a pružná. Vyznačují se svým přesným a plynulým chodem za poměrně nízkou cenu. Má vysokou spolehlivost s uzavřenou konstrukcí odolnou proti prachu. Tento sval je využíván v mnoha průmyslových odvětvích, kde lidem usnadňují práci nejen např. v lékařství nebo automobilovém průmyslu, ale také handicapovaným lidem v podobě aktivních protéz. Aplikace umělého svalu se neustále rozšiřuje do mnoha dalších odvětví.

Mým hlavním cílem práce bylo zvolit (navrhnout) manipulační zařízení s tímto svalem a podle požadovaných zdvihových a hmotnostních parametrů zvolit potřebný pneumatický sval. Typ a velikost tohoto svalu jsem volil podle katalogu firmy FESTO.

Základní porovnání

	Hydraulika	Elektrika	Pneumatika
Pracovní rychlost	5 m/s	10 m/s	4 m/s
Hustota výkonu	Vysoká	Nízká	Nízká
Dosažitelnost sil	Vysoká	Vysoká	omezená ~20 kN
Dosažitelný zdvih	Vysoké, až 10m	Vysoké	Vysoké, až 10m +
Změna síly	Jednoduché a přesné	Jednoduché a komplikované	Jednoduché a přesné
Účinnost	Nejlepší	Dobrá	Dobrá
Připojení	Jednoduché	Jednoduché	Velmi jednoduché
Ochrana proti přetížení	Ano	Ano	Ano
Výbušné	Ano	Ano	Ne

8. Seznam použité literatury

- [1] FESTO [online] Fluidní svaly. K nahlédnutí na WWW:
http://www.festo.com/pnf/cs_cz/products/catalog?action=family&key=140
- [2] FESTO [online] přísavky. K nahlédnutí na WWW:
http://www.festo.com/cms/cs_cz/9755_11745.htm
- [19] FESTO [online] vakuový ejektor. K nahlédnutí na WWW:
http://www.festo.com/pnf/cs_cz/products/catalog?action=family&key=380
- [3] odborné časopisy [online] McKibbenův umělý pneumatický sval. K nahlédnutí na WWW:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32122
- [4] automatizace [online] Pneumatický sval v robotice. K nahlédnutí na WWW:
<http://www.automatizace.cz/article.php?a=683>
- [5] Chou, C. P. – Hannaford, B. (1994): Static and Dynamic Characteristic of McKibben Pneumatic Artificial Muscles. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 1, pages 281–286.
- [6] Tondu, B. – Lopez, P. (2000): Modelling and Control of McKibben Artificial Muscle Robot Actuators. In: IEEE Control Systems Magazine, pages 15–38.
- [7] J. M. Yarlott, "Fluid actuator", US Patent No. 3 645 173, 1972
- [8] G. Immega, and M. Kukolj, "Axially contractible actuator", US Patent No. 4 939 982, 1990.
- [9] M. Kukolj, "Axially contractible actuator", US Patent No. 4 733 603, 1988.
- [10] A. H. Morin, "Elastic diaphragm", US Patent No. 2 642 091, 1953.
- [11] Th. A. McMahon, "Muscles, reflexes, and locomotion", Princeton University Press, 1984.
- [12] H. A. Baldwin, "Realizable models of muscle function", Proceedings of the First Rock Biomechanics Symposium, pp. 139–148, New York, 1969.

- [13] H. F. Schulte, "The characteristics of the McKibben Artificial Muscle", The Application of External Power in Prosthetics and Orthotics, pp. 94–115, National Academy of Sciences–National Research Council, Publication 874, Lake Arrowhead, 1961.
- [14] M. M. Gavrilović and M. R. Marić, "Positional servomechanism activated by artificial muscles", Medical and Biological Engineering, vol. 7, pp. 77–82, 1969
- [15] D. G. Caldwell, G. A. Medrano-Cerda and M. J. Goodwin, "Control of Pneumatic Muscle Actuators", IEEE Control Systems Magazine, vol. 15, number 1, pp. 40–48, 1995.
- [16] J. J. Grodski and G. B. Immega, "Myoelectric control of compliance on a ROMAC protoarm", Proceedings of the International Symposium on Teleoperation and Control, pp. 297–308, 1988.
- [17] J. M. Winters, "Braided Artificial Muscles: mechanical properties and future uses in prosthetics/orthotics", Proceedings of the RESNA 13th Annual Conference, pp. 173–174, Washington DC, 1995.
- [18] C.-P. Chou and B. Hannaford, "Measurement and modeling of McKibben Pneumatic Artificial Muscles", IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 12, no. 1, pp. 90–102, 1996.
- [19] F. Daerden, Conception and realization of Pleated Pneumatic Artificial Muscles and their use as compliant actuation elements, PhD Thesis, Vrije Universiteit Brussel, 1999.
- [20] F. Daerden and D. Lefeber, "The concept and design of pleated pneumatic artificial muscles", International Journal of Fluid Power, vol. 2, no. 3, pp. 41–50, 2001.
- [21] B. Tondu, V. Boitier and P. Lopez, "Théorie d'un Muscle Artificiel Pneumatique et application à la modelisation du muscle artificiel de McKibben", Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, t.320 Série IIB, pp. 105–114. Académie des Sciences, France, 1995.
- [22] D. G. Caldwell, A. Razak and M. J. Goodwin, "Braided Pneumatic Muscle Actuators", Proceedings of the IFAC Conference on Intelligent Autonomous Vehicles, pp. 507–512, Southampton, 1993.
- [23] J. M. Yarlott, "Fluid Actuator", US Patent No. 3 645 173, 1972.
- [24] G. B. Immega, "ROMAC muscle powered robots", Technical report MS86-777, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, 1986.
- [25] G. B. Immega, "ROMAC actuators for micro robots", IEEE Micro Robotics and Teleoperators Workshop, Hyannis, Massachusetts, 1987
- [26] Frank Daerden, Dirk Lefeber : Pneumatic Artificial Muscles: actuators for robotics and automatik -

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych na tomto místě vyjádřil poděkování svému vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Jaroslavovi Kopáčkovi, CSc. za jeho cenné rady, pomoc, trpělivost a ochotu při vypracovávání mé práce.

V Ostravě, dne 23. května 2010

.....